

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

高速列車のパンタグラフの形状と空気の流れを探る

パンタグラフは車両の屋根上に設置され、架線から電力を取り込む装置です。新幹線では、パンタグラフは高速の気流にさらされるため、空気力学的な課題が生じます。パンタグラフの空気力学的な課題として代表的なものが、空力音の低減と揚力特性の安定化であり、それらの解決には空気の流れをよく理解することが重要となります。ここでは、はじめに空力音の低減と揚力特性の安定化について概説したうえで、パンタグラフの舟体や舟支え部とよばれる部分の形状を変えた場合の空気の流れについて紹介します。



光用 剛
Takeshi Mitsumoji
鉄道力学研究部
集電力学研究室
主任研究員



臼田 隆之
Takayuki Usuda
前 鉄道力学研究部
集電力学研究室長
(現 総務部 広報課長)



中野 宏章
Hiroaki Nakano
鉄道力学研究部
計算力学研究室
研究員



中出 孝次
Koji Nakade
鉄道力学研究部
計算力学研究室
主任研究員(上級)

はじめに

ここでは、新幹線パンタグラフの空気力学的な課題として、空力音の低減と揚力特性の安定化について概説したうえで、パンタグラフの空力音や揚力特性への影響が大きい舟体や舟支え部とよばれる部分(図1)の形状を変えた場合の空気の流れについて紹介します。

パンタグラフの空力的な課題

新幹線パンタグラフは車両の屋根上で高速の気流にさらされる部材であり、空気力学的な課題をうまく解決することが重要となります。その代表的なものが、空力音の低減と揚力特性の安定化です。

空力音とは、物体が空気中を移動する際に発生する風切り音のことです。空力音は列車速度の増加にともなって急激に大きくなる性質をもち、新幹線においては、沿線騒音のなかで大きな割合を占めることがわかっています。日本では、世界的にみても厳しい環境基準が定められており、新幹線を高速化するうえで、空力音を低減することが重要な課題となっています。

また、パンタグラフには空気の流れ

によって揚力が作用します。この揚力が大きすぎると架線にダメージを与え、小さすぎるとパンタグラフが安定して架線と接触できなくなります。そのため、パンタグラフには大きすぎず小さすぎず、つねに適切な大きさの揚力が作用していることが重要になります。また、架線と接触する部材(すり板、図1)が摩耗して舟体全体の断面形状が変化したり、パンタグラフの対向風の風向が変化した場合でも、揚力が大きく変化しないこともまた重要です。これらを踏まえて、パンタグラフに作用する揚力が適切な値に維持され、風向などのさまざまな条件変化に対して大きく変化しない状態にすることを、揚力特性の安定化とよんでいます。

新幹線パンタグラフにおいては、舟体が飛行機の翼のように高速で風を切って進んでいくため、空力音と揚力特性の両方に対して影響が大きい部材となるほか、舟体を支える舟支え部も影響を及ぼします。そのため、新幹線パンタグラフの開発においては、これらの部材に対して空力音の低減と揚力特性の安定化の両方を実現する技術が必要になりますが、両者はトレードオ

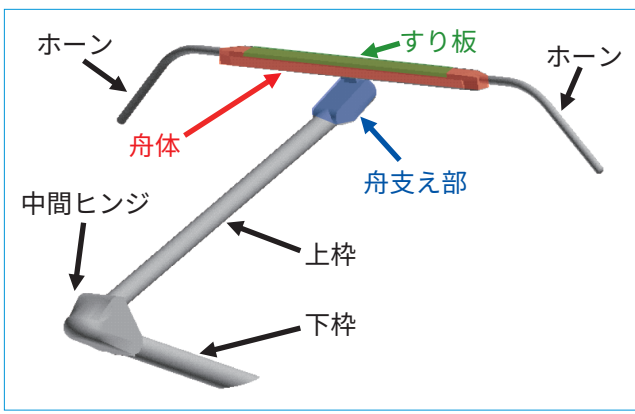


図1 パンタグラフの構成

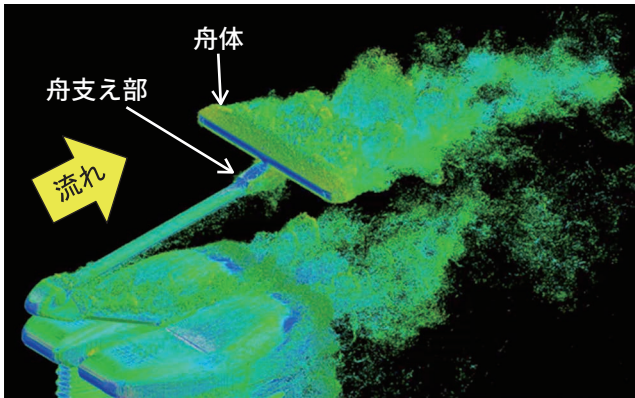


図2 パンタグラフまわりの流れ場(渦の構造)

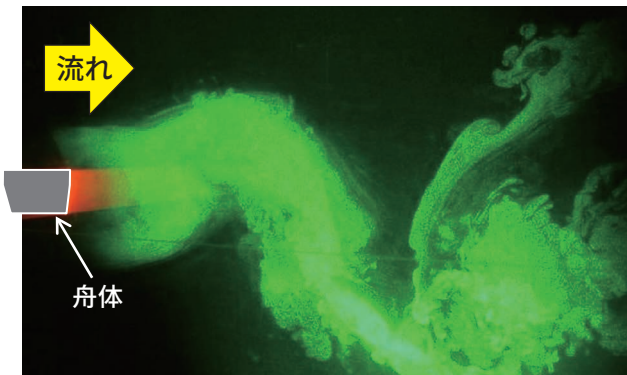


図3 舟体背後に生じるカルマン渦(風洞での可視化結果)

の関係にあり、両立が難しい技術でもあります。そこで、鉄道総研では、風洞試験や数値シミュレーションを駆使してこの課題の解決に取り組んでいます。これらを踏まえて、ここでは、舟体や舟支え部の形状を変更した場合の空気の流れについて紹介します。

パンタグラフまわりの流れと空力音

空力音は物体背後に生じる渦によって発生します。図2はパンタグラフま

わりの流れを数値シミュレーションにより解析し、背後に生じる渦の様子を可視化した結果です。本図より、パンタグラフの舟体や舟支え部とよばれる部位の背後には多くの渦が発生していることがわかります。とくに、舟体については、図3に示すようにカルマン渦(☞参照)が発生し、これにより大きな空力音が生じることがわかっています。

舟体の断面形状と空気の流れ

空力音を低減するもっとも単純な方

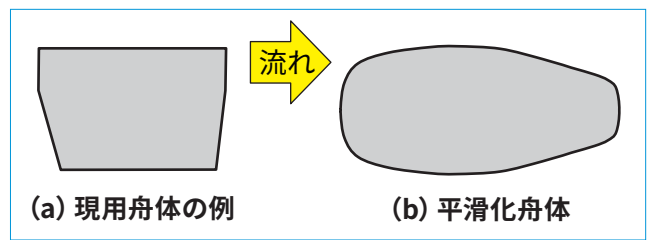


図4 舟体の断面形状

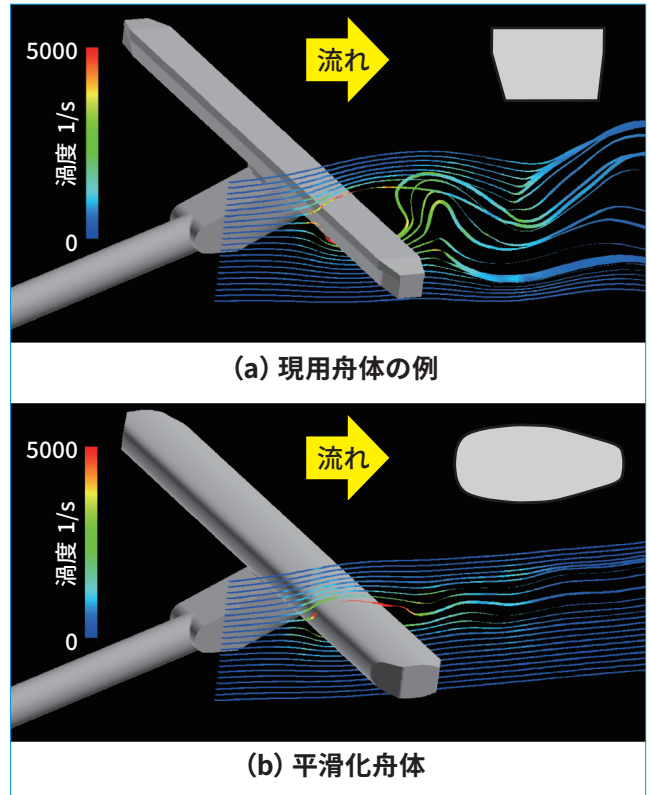


図5 舟体まわりの流れ場(流線)

法は、部材の形状を流線形化して、背後に渦が生じないようにすることです。しかし、舟体の場合、断面形状を単純に流線形化すると、対向風の風向変化や、すり板摩擦にともなう舟体全体の断面形状の変化に対して揚力が敏感に変化しやすくなり、揚力特性の安定化が損なわれてしまいます。そのため、現状では、揚力特性が安定化する傾向がある矩形に近い断面形状(図4(a))の舟体が多く用いられていますが、矩形のような形状は空力音が大きくなってしまいう傾向があります。

☞ カルマン渦

棒状の物体の背後で交互に発生する強い渦のこと。

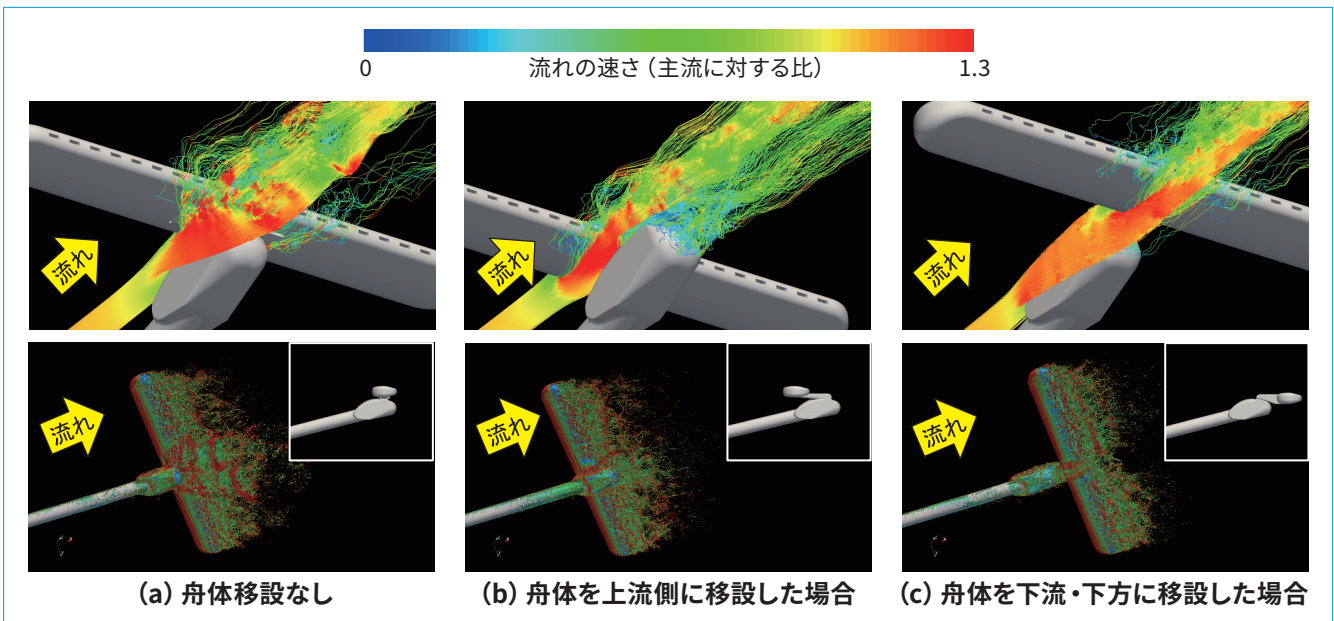


図6 舟体・舟支え部まわりの流れ場¹⁾(上段：流線, 下段：渦の構造)

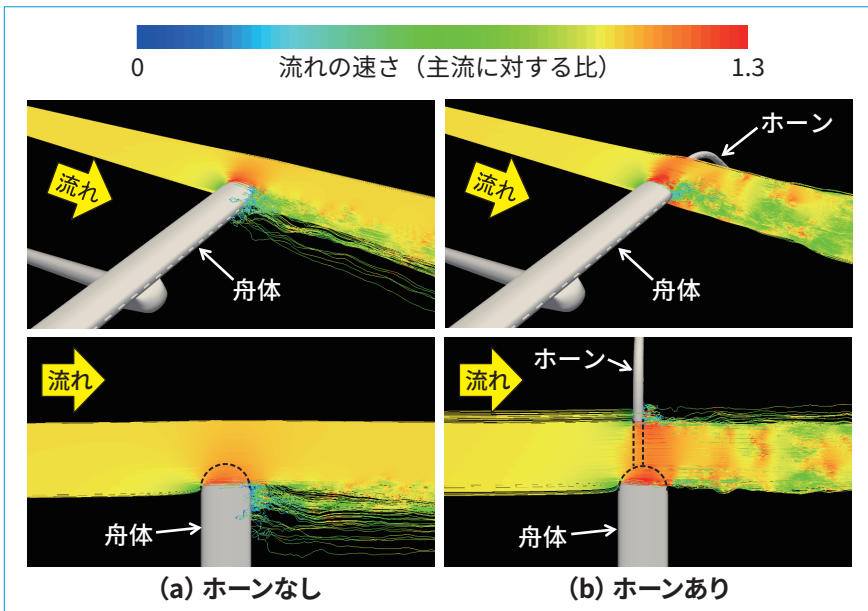


図7 舟体端部の流れ¹⁾
(流線, 上段：下流側斜め上方から見た図, 下段：上方から見た図)

そこで、数値シミュレーションと最適手法を組み合わせた手法を用いて、空力音の低減と揚力特性の安定化を両立する舟体の断面形状を選定しました。この舟体（以下、平滑化舟体と記します）を図4 (b) に示します。この断面形状は、一方向のみの走行を想定したものであり、上流側は鈍い形状として揚力特性を安定化させ、下流側は流線形に近い形状として渦の発生を抑制し、

空力音を低減させる形状となっています。これらの舟体をパンタグラフに搭載した場合の数値シミュレーションの結果を図5に示します。本図より、舟体の断面形状を変更することで、舟体背後の渦が弱まっている様子が確認できます。

舟支え部の形状と空気の流れ

空力音の低減においては、舟体の断

面形状の改良だけでなく、舟体と舟支え部の位置関係を改良することもまた、重要であることがわかっています。図6 (a) は平滑化舟体を搭載した場合の舟支え部周辺の流れの様子です。上段の流線からは、前方から来た流れが舟支え部付近で左右に大きく広がり、乱れた流れが形成されている様子がわかります。また、下段の渦の構造からは、舟支え部付近から渦が広がっている様子がわかります。この流れを改善するために、舟体を上流側に移設した場合（図6 (b)）や、下流かつ下方に移設した場合（図6 (c)）には、舟支え部付近での流れの広がりが抑制され（各図の上段）、舟支え部からの渦も低減している（各図の下段）ことがわかります。風洞試験でも、これらの舟体配置によって空力音を効果的に低減できることを確認しています。

舟体端部の形状と空気の流れ

舟体の両端部には、架線が舟体の下方に潜り込んで衝撃することを防止する部材として、ホーンが取り付けられています。図7はホーンの有無による流れ場の比較を示しており、舟体端部の形状はどちらも円弧状に丸めた形

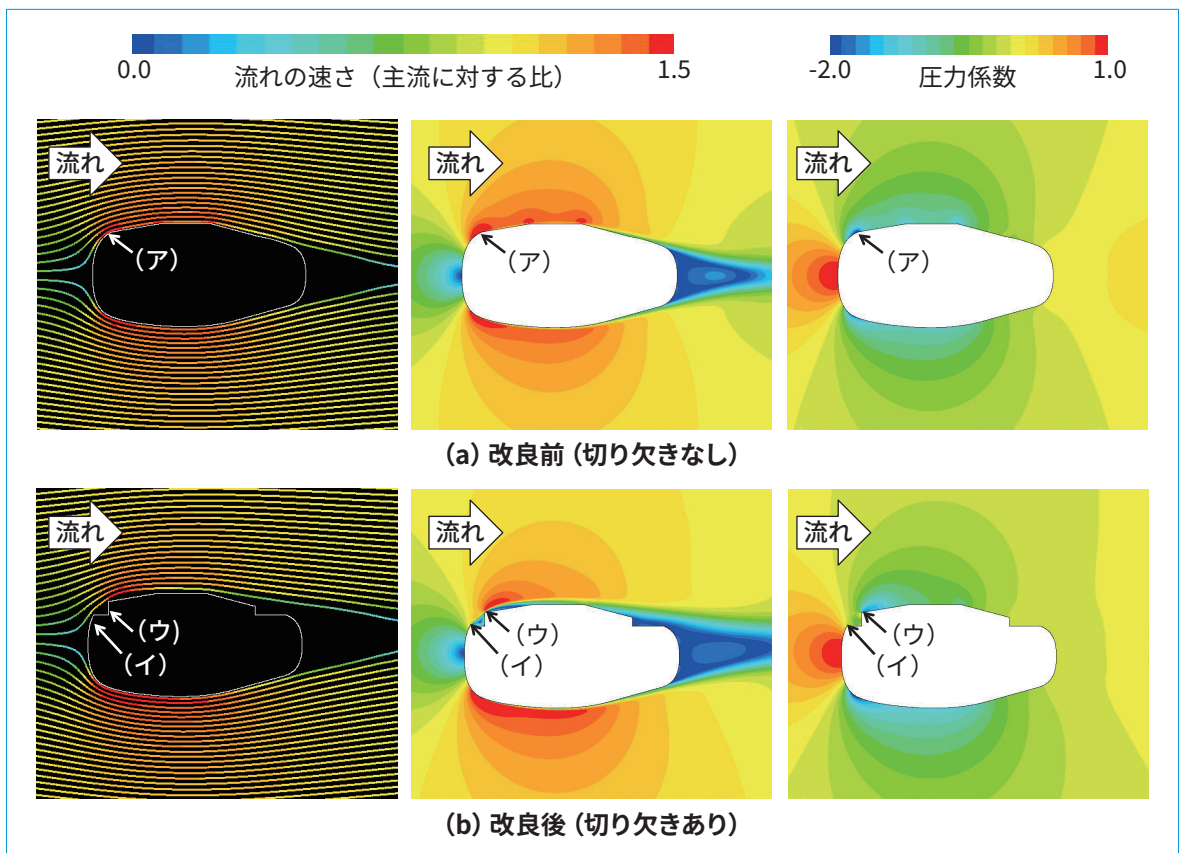


図8 舟体まわりの流れ(左：流線(流れの速さで着色)，中央：流れの速さ，右：圧力係数)

状としています。ホーンがない場合(図7(a))では、舟体端部の流れは大きな乱れを生じることなく流れていますが、舟体の圆弧状の端部付近で流れが若干加速していることがわかります。これに対してホーンを取り付けた場合には(図7(b))、流れが加速する部分にホーンとの接合部が位置することで、強い乱れが生じていることがわかります。風洞試験でも、舟体とホーンとの接合部が強い音源となることを確認しており、その対策として、舟体とホーンとを平滑に接合するなど、接合部の形状改良が有効であることを確認しています。

舟体まわりの流れと揚力特性の安定化

次に、舟体の流れと揚力特性の安定化について紹介します。図8(a)は平滑化舟体に準じた形状の舟体周りの流れを示しています。舟体の上面側に着目すると、上流側の丸み部で

流れが速くなっている様子わかります(図8(a)の左図および中央図の(ア))。流れが速くなる部分では圧力が低下しており(図8(a)右図)、この部分には流れに引き寄せられる方向に力が作用し、揚力が発生します。また、流れが速くなる部分では、すり板摩擦による形状変化や、対向風の上下方向の風向の変化に対して圧力の変化が敏感になる傾向があり、揚力特性の安定化が難しくなります。そこで、この対策として、流れが速くなる部分を切り欠いた場合の流れを図8(b)に示します。この図の流れでは、切り欠いた部分(図8(b)の左図および中央図の(イ))でいったん流れが舟体表面から離れた後にすり板の角部(同図の(ウ))に衝突し、その後、すり板をかすめるように流下しており、図8(a)と比べて流れの増速が抑えられていることがわかります。これにより、すり板摩擦や風向変化に対する揚力変化が抑えられ、揚力特性の安定化が可能になりま

す。このことは風洞試験でも確認をしています。ただし、この対策は、切り欠き部分の寸法や角部の形状によって流れ場が大きく変わる場合があり、慎重な形状選定が必要になります。

おわりに

ここで紹介したように、新幹線パンタグラフの開発においては、空力音の低減と揚力特性の安定化という相反する空気力学的な性能を両立させることが重要となります。今後も、数値シミュレーションや風洞試験を活用し、空気の流れをよく理解しながら、研究開発を進めていきます。RRR

文献

- 1) 唐津卓哉, 光用剛, 中出孝次: CFDを用いた舟体・舟支部の形状改良による空力音低減メカニズムの解明, 第24回鉄道技術・政策連合シンポジウム, S1-1-2, 2017